

# **LÄMPÖMUOVATTAVA UPM GRADA PUNOSRAKENTEISSA**

**Punosrakenteiden muotoilu lämpömuovaus menetelmällä**

**Tony Yau**

**Materiaalitutkimus -kurssin kurssityö**

**Muotoilun pääaine**

**Muotoilun laitos**

**Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu**

**Aalto-yliopisto**

**4.4.2016**

## Sisällys

Lähdeluettelo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abstrakti .....	3
1 Johdanto .....	4
2 Tutkimuksen pääkysymykset, ongelmat ja hypoteesit .....	7
3 Menetelmä .....	8
3.1 Kuivapunonta .....	8
3.2 Lämpömuovaus .....	15
4 Tulokset .....	20
5 Tarkastelu / johtopäätökset .....	21
Lähdeluettelo .....	22

## **Abstrakti**

Tutkimuksessa kokeiltiin UPM Gradan soveltuvuutta punosrakenteisiin. UPM Gradasta tehtiin erilaisia punoksia joita lämpömuovattiin kaareviksi onnistuneesti. Kokeessa havaittiin materiaalin käyttäytymistä rakenteessa ja lopullisessa kokeessa punos onnistui hajoamatta. Lämpömuovatussa rakenteessa huomattiin että soirojen välinen jännitys katoaa joka asettaa päättelylle omat vaatimuksensa. Koe suoritettiin taideteollisen korkeakoulun, muotoilun laitoksen puustudiolla.

## 1 Johdanto

Suomen metsäteollisuuden tuotteet ovat noin 20prosenttia(11 miljoonaa euroa) koko maan viennistä. (metsälehti 2015, 10) Kotimaamme tunnetaan laadukkaista sahatavaratuotteista, joiden syntyyn vaikuttaa pääosin suomen ilmasto. Olosuhteet ovat mannermaiset mutta myös merelliset jotka antavat puille kasvualustan, jossa ne kasvavat lujiksi(tiheä syisiksi) sekä tasalaatuisiksi. (Vanerikäsikirja 2005, 5)

Suomi on Euroopan suurin vanerin tuottaja. Vaneriteollisuuden pääraaka-aineena ovat rauduskoivu (Betula Pendula)(kuva 1) sekä metsäkuusi (Picea Abies). Vaneri koostuu ristiin liimatuista viiluista jotka muodostavat kestävästä levyrakenteen (kuva 2).



**Kuva 1.** *"Metsätaloudessa rauduskoivu on selvästi hieskoivua suositumpi. Rauduskoivu on hyvä vaneri- ja huonekalupuu ja sen ohut- ja lujalehtisistä oksista saadaan parhaat saunavihdät. Lehtiä käytetään teenä ja rohtona ja mahlaa kevätväsymystä poistavana juomana. Rauduskoivu on Suomen kansallispuu."* (Luontoportti)



**Kuva 2.** Suomalainen koivuvaneri jossa kerrokset ovat ristiin liimattu. (Propuu Ry)

Tutkimukseni kohteena on UPM:n (United Paper Mills) valmistama vanerikomposiitti UPM Grada 2000, joka on jo seuraavan sukupolven tuote edeltäjästään UPM Grada 1000. Tuotteessa on korvattu vanereissa yleisesti käytetty fenolihartsiliima uudella muovikalvolla, joka mahdollistaa vanerin työstämisen lämpömuovaamalla. Erona perinteiseen muotopuristeiden valmistamiseen, UPM Grada on valmis levytuote jota voidaan lämmön avulla muovata kun taas perinteisessä menetelmässä levyjä ladotaan liimojen kanssa päällekkäin ja sitten ne puristetaan muotoonsa.

Lähdin tutkimaan UPM Gradaa koska materiaalin uudet mahdollisuudet kiinnostavat. UPM Gradan pääosainen oivallus tulee siitä että sen avulla voidaan nopeuttaa ja yksinkertaistaa muotopuristeiden valmistusta (UPM, 2013). UPM Gradan kanssa ei tarvitse latoa ja liimata levyjä yhteen vaan ne ovat jo valmiiksi samassa nipussa uudenlaisen liimakalvon avulla johon koko UPM Grada perustuukin. UPM Gradan sisällä on liimakalvoa joka lämmitettäessä antaa levyille mahdollisuuden muovaamiseen mutta jäähtyessään muoto kovettuu.

Punos rakenteet ovat olleet yleisesti käytössä suomalaisen käsityöiden perinteissä etenkin tuohiesineissä joihin on kehitetty erilaisia punoksia jolla saadaan aikaan tekstiilimäisiä puupintoja jotka ovat joustavia. Siitä sain idean että mitä jos UPM Gradaa punottaisiin levyksi ja sitten sitä muotopuristettaisiin erilaisiin näyttäviin muotoihin. Tällä tekniikalla olisi mahdollista saada aikaiseksi vielä kestävämpiä ja jo itsessään jäykkiä rakenteita.

Tutkimuksen tarkoituksena on siis tutustua tarkemmin UPM Gradan ominaisuuksiin sekä sen työstömahdollisuuksiin punosrakenteissa. Aion siis selvittää mitkä tekijät vaikuttavat löydetyn punosrakenteen taipumisen ominaisuuksiin, mitkä paksuudet, minkä tyyppinen punos, ja miten puun syysuunnat vaikuttavat rakenteen elastisiin ominaisuuksiin.

## 2 Tutkimuksen pääkysymykset, ongelmat ja hypoteesit

Hypoteettisesti ihanne tilanne olisi jos UPM Gradasta voitaisiin leikata soiroja, jotka punottaisiin levyksi, jonka jälkeen se lämpömuovaamalla puristettaisiin muotoonsa. Silloin vaneripunos rakenteet eivät vaatisi erillisiä muotteja jokaiselle soirolle, vaan voisimme käyttää yhtä muottia koko rakenteen muovaamiseen. Pää tavoitteeni olisi selvittää mitkä tekijät vaikuttavat rakenteen ”kuiva” punontaan sekä siihen miten rakenne käyttäytyy lämpömuovausmenetelmässä.

Aloitin tutkimukseni käyttämällä 7mm UPM Gradaa. Tiesin että tutkimusta helpottaisi ohuempi materiaali, sen taipumista ajatellen. UPM ilmoittaa että levystä on saatavilla ohuempaa noin 4 millisenä joka kuulostaa hyvältä punomisen kannalta. Sain myöhemmin käyttööni erikoisohutta 3mm Gradaa Lohjan Mahogany OY:sta, jossa sitä valmistettiin tutkimusta varten 3 arkkia.

### 3 Menetelmä

Jaottelen tutkimusmenetelmäni seuraaviin vaiheisiin:

1. Punosrakenteiden punominen UPM Gradalla.
2. Rakenteiden lämpömuovaaminen kaareviin muotoihin.

#### 3.1 Kuivapunonta

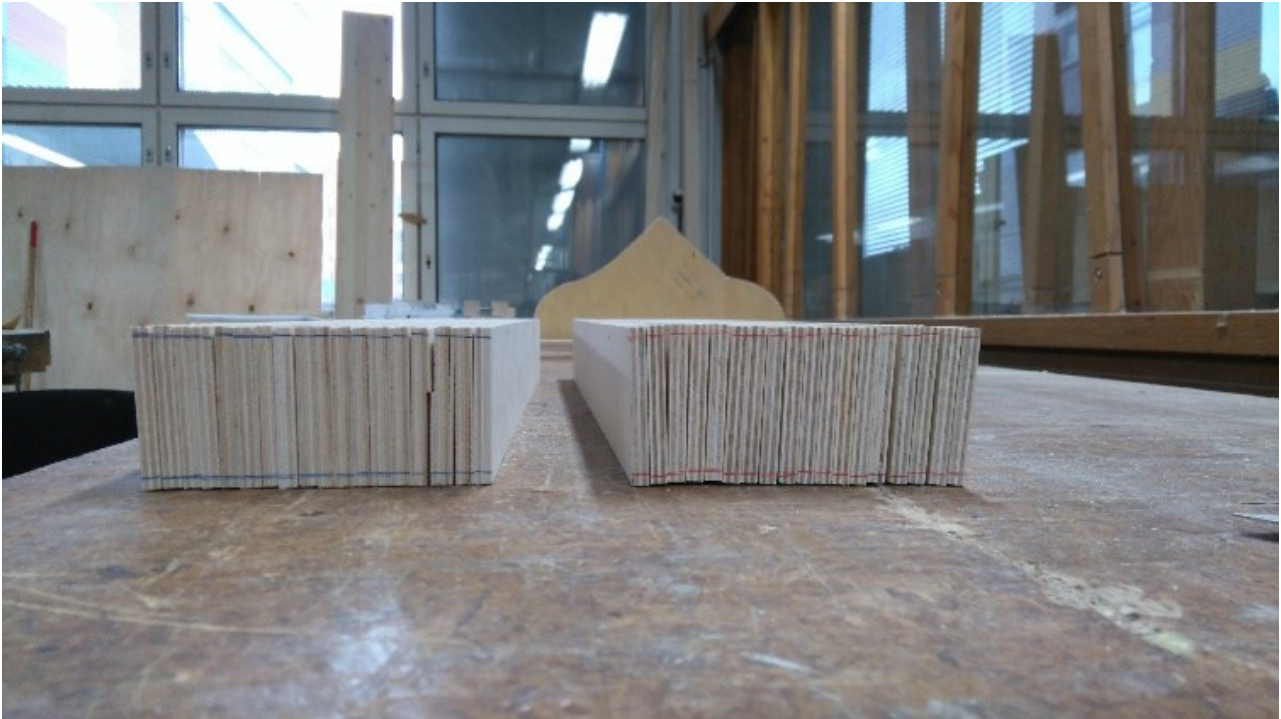
UPM ilmoittaa että 7mm Grada -vanerin minimi taivutus-säde on 30-40mm mikä tarkoittaa sädettä lämpökäsittelyn aikana. (UPM, 2013) UPM ei ilmoita vanerin ”kuivana” taipumista joten otan lähtövertauskohteeksi tavallisen vanerin. Puuinfo ilmoittaa että fenolihartsilla liimattu koivuviilupintainen sekavaneri taipuu kuivana syitä myöten 850mm (Taulukko 1). Omasta puutyöskentelyn kokemuksesta tiedän että taipumiseen vaikuttaa myös vanerin leveys. Kapeampi soiro taipuu helpommin kuin leveämpi. Ennen kokeiden aloittamista sain myös neuvoksi pajahenkilökunnalta että soirot kannattaa pyöristää jotta ne liikkuvat paremmin punoksessa.

**Taulukko 1.** Koivuviilupintaisen sekavanerin kuivataulutus taulukko (Puuinfo)

<b>Vanerien pienimmät taivutussäteet. Vesi- tai höyrykäsittely helpottaa vanerin taivuttamista. Koivuviilupintainen sekavaneri.</b>		
<b>Nimellispaksuus mm</b>	<b>Taivutus pintaviilun syysn suunnassa</b>	<b>Taivutus poikittain pintaviilun syyn suuntaan</b>
6,5	850	650
9	1150	950
12	1150	1250

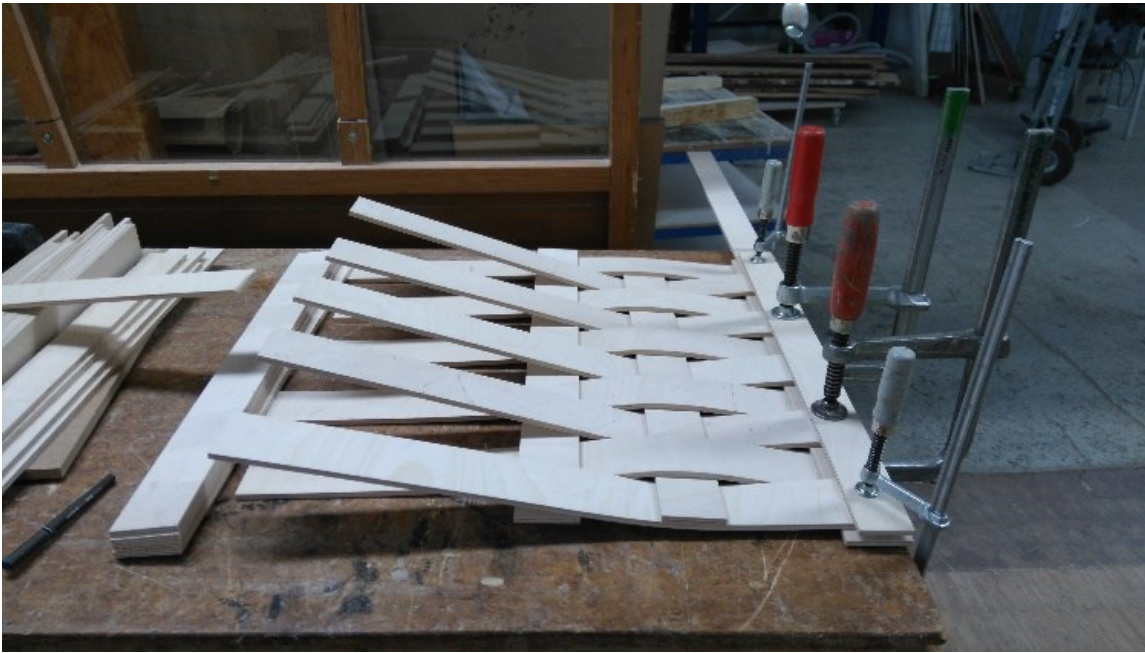


Leikkasin 7mm UPM Gradaa 60mm soiroiksi joita lähdin sitten punomaan. Ensimmäisessä testissä käytin myötä mutta myös vastaan olevia soiroja. Tarkoituksena oli kokeilla erityyppisiä punoksia ja sitten kaventaa soiroja ohkaisemmiksi jos punos tuntui olevan liian jäykkä punottavaksi. Luku 60 syntyi ajatuksesta että muotopuristettuja punoksia käytettäisiin potentiaalisesti huonekaluissa joten punos ei saisi olla liian pientä jolloin sen jäykkyys pienenesi liiaksi. Myös materiaalin rajallisuudesta johtuen en voinut tehdä suurempia kokeita.



**Kuva 3.** Myötä sekä vastasyisiä soiroja koetta varten. (Kuva Tony Yau)

Kuvassa 3. näkyy siniset(myötä syiset) sekä punaiset(vasta syiset) soirot. Heti kättelyssä punottaessa myötäsyisiä soiroja ne panivat niin kovasti hanttiin että tutkimusta piti jatkaa vain vastasyisillä joiden kuivataivutussäde oli huomattavasti pienempi.



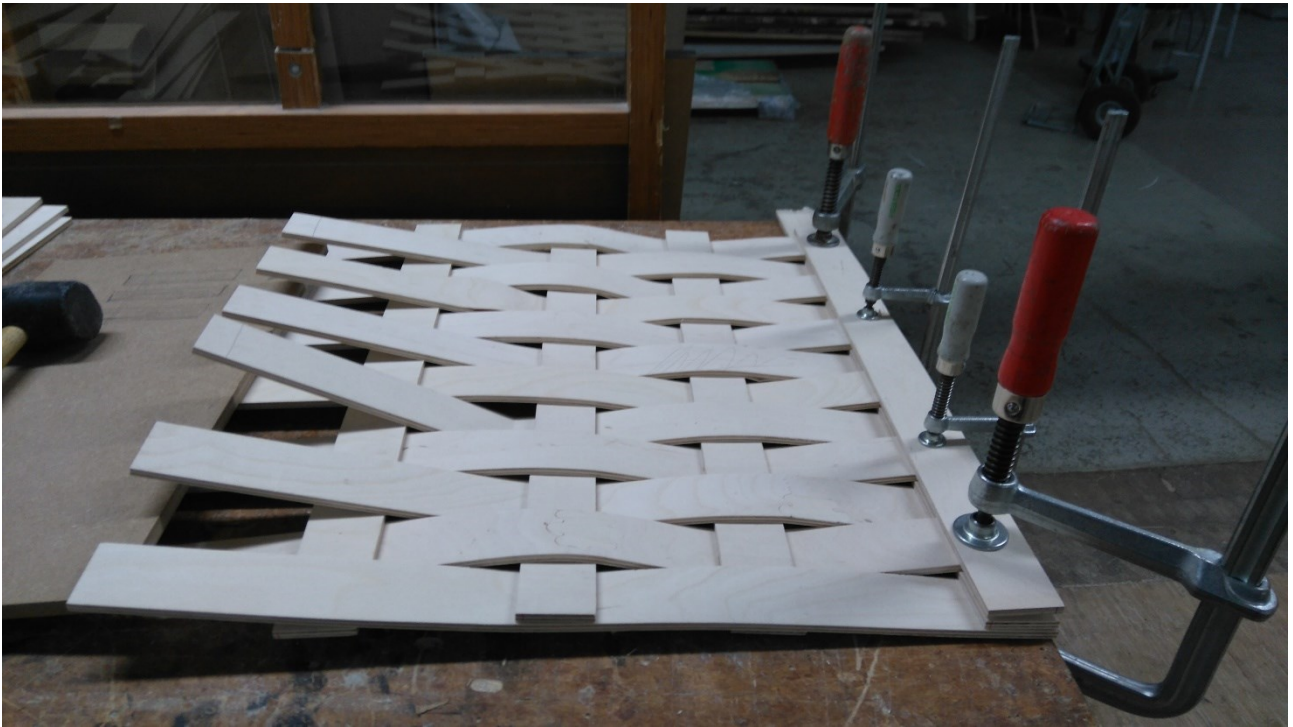
**Kuva 4.** Punottaessa kolmatta soiroa, punoksen rakenne alkoi pistämään hanttiin. (Kuva Tony Yau)

Ensimmäisessä kokeessa kokeilin punoa vastasyisiä 60 soiroja punokseksi. Vastasyiset taipuvat helpommin. Kokeessa huomasin että ladottaessa kolmas soiro(kuva 4), syntyy suora soiroihin niin kova jännite että osassa alkoi näkyä hiusmurtumia sekä kuulua katkeamisen ääniä. Punoksesta tulee tällöin käyttökelvoton. Asetettaessa kolmas soiro, on vaneripunos äärijännityksessään joka sen tulisi kestää. Kun vanerisoiro taipuu yhteen suuntaan, on se selkeästi ylitse koivuviilupintaisen sekavanerin kuivataivutussäteen. Asiaan vaikuttaa varmasti tiukka mutka vastakkaiseen suuntaan jolloin vaneriin syntyy tiukka jännite.



**Kuva 5.** Myötäsyiset soivot eivät kestäneet punoksen aiheuttamaa jännitettä. (Kuva Tony Yau)

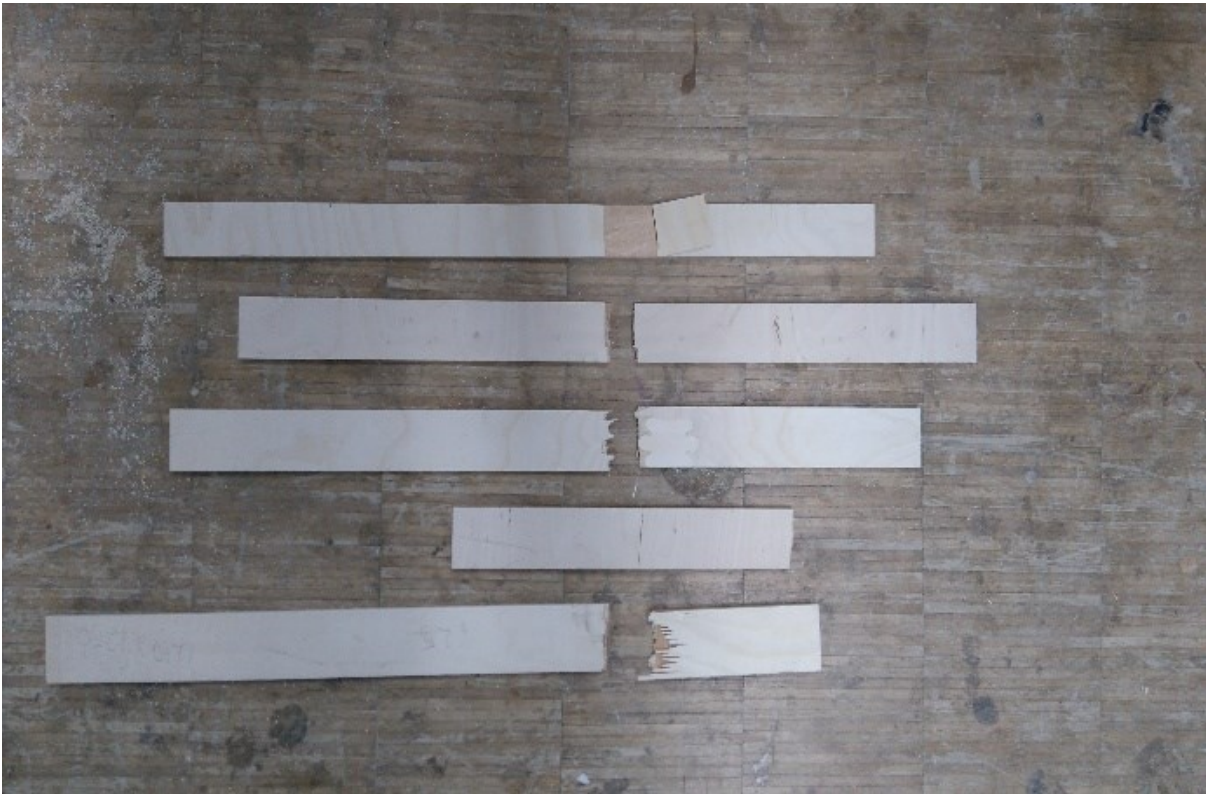
Kuvassa 5 näkyy etualalla tilanne missä etumainen soivo on myötäsyinen ja taaempi murtunut vastasyinen. Kolmatta soivoa punottaessa myötäsyinen panee niin kovaa hanttiin että vastasyinen murtuu kahdesta kohtaa.



**Kuva 6.** 45mm soiroilla punominen alkoi onnistua. (Kuva Tony Yau)

Kavensin soiroja puolen sentin välein kunnes 45mm soirot, kaksin kertaistamalla välistyksillä alkoi onnistua (kuva 6). Punominen tuntui yhä luonnottomalta, satunnaisten katkeamisäänten sekä pienten hiusmurtumien takia. Hiusmurtumiin varmasti pääsi vaikuttamaan se että kokeessa käytettiin samoja soiroja toistuvasti.



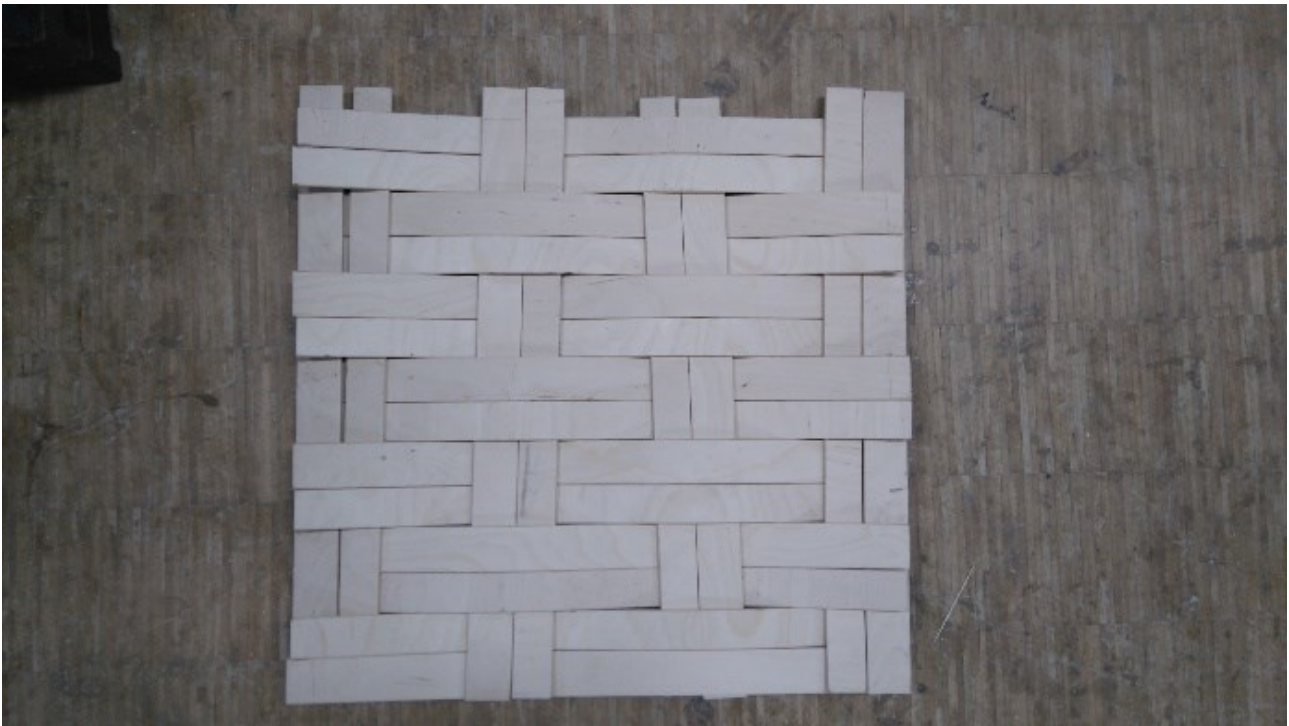


**Kuva 7.** Erilaisia virhetilanteita joita ilmeni punoksessa. (Kuva Tony Yau)

Tutkimuksen aikana jännitteen aiheuttamia virhetilanteita vastasyisissä soiroissa(Kuva 7):

1. Vanerin uloin pintaviilu halkeaa
2. koko soiro poikkeaa
3. Soiron kohdalle on sattunut paikka joka heikentää sen kestävyyttä
4. Hiusmurtumat
5. Vaneri repeää punoksessa ajan kanssa.

Tutkimuksen edetessä kokeilin tehdä satunnaisia punoskokeiluja jonka tuloksena syntyi punos kahdella soirolla (kuva 8). Kuivapunottaessa huomasin että kun ladin yhden soiron sijaan kaksi vierekkäin, jännite oli huomattavasti pienempi käsittömällä. Tutkiessani rakennetta oivalsin että punokseni soirot olivat ikään kuin halkaistu kahtia jonka seurauksena paine tasaantui ja soirot myötäilivät aaltoilevaa muotoa paremmin. Punos skaalautui tietysti suurempaan kokoon joka myös helpottaa jännitettä. mutta en usko että vastaava punos onnistuisi vain leveillä soiroilla.

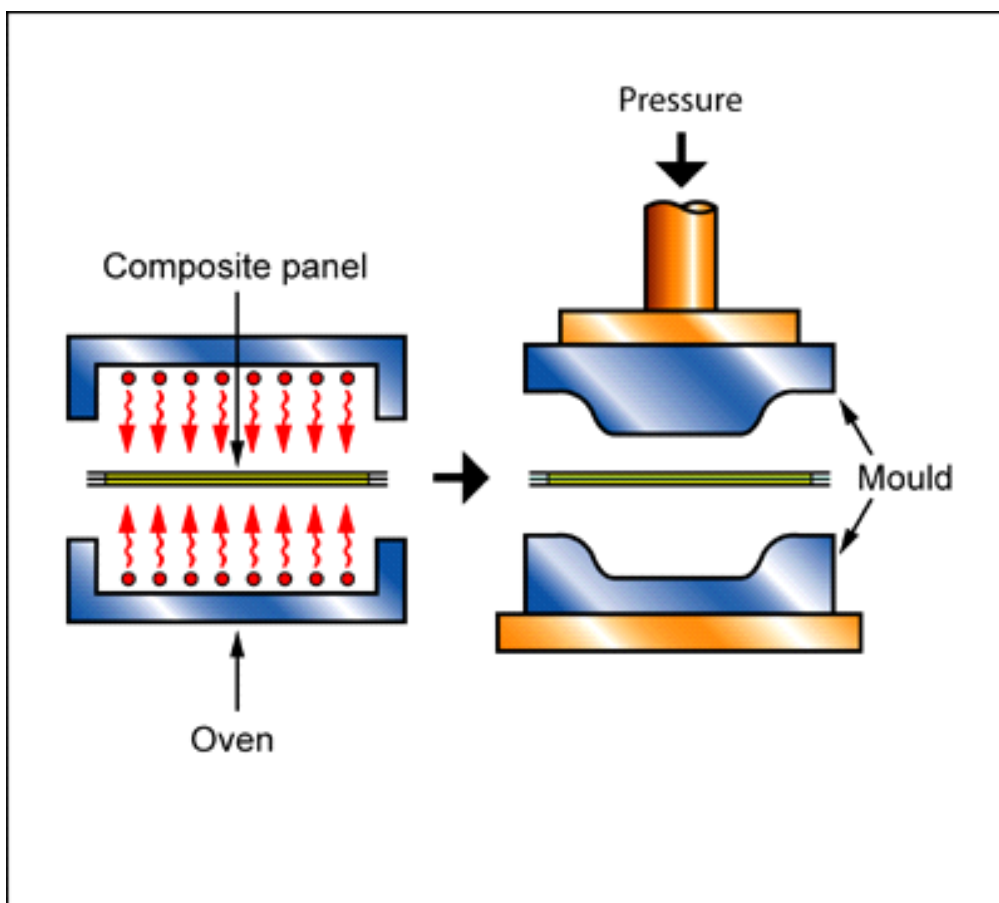


**Kuva 8.** Kahden soiron punosrakenne. (Kuva Tony Yau)

### 3.2 Lämpömuovaus

Rakenteiden löydyttyä aloitin punosten lämpömuovaamisen. Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulusta, muotoilun laitoksen puustudiosta löytyy suuri kiertoilmauuni jonka saa lämmitettyä 160asteeseen. Rakensin itse kaksi osaisen muotin (kuva9) (positiivi ja negatiivi kappale). Ensimmäisiin kokeisiin muotin muoto tulee vain kaarevaksi muodoksi.

Pajahenkilökunnan mukaan kiertoilmauuni ei ole parasvaihtoehto UPM Gradan muovaamiseksi. Kiertoilmauuni kuivaa puuta siten että hiusmurtumien sekä katkeamisen riski kasvaa. Tämä tulee huomioida kokeita tehdessä-



**Kuva 9.** UPM Gradaa muotoillaan lämpömuovaamalla. Menetelmässä levy lämmitetään materiaalin paksuuden mukaan tiettyyn lämpötilaan jonka jälkeen levy jäähdytetään muotissa. Lämpömuovaamisen menetelmä. (Ces Edupack)

UPM Gradan jäähtymisajat ovat todella pienet joten muotti täytyy suunnitella siten että prässäys voidaan tehdä mahdollisimman nopeasti (Taulukko 2). Suunnittelin kokeita varten muotin joka on tarkoitus laittaa kokonaisena uuniin jotta levy ei ehtisi kovettua ennen prässäystä (Kuvat 10 ja 11).

**Taulukko 2.** UPM Gradan muotoiluohje (UPM, 2013)

### **Paksuudet ja painot**

Nimellispaksuus (mm)	Tavoite paksuus (mm)	Paksuus (mm)		Paino (kg/m <sup>2</sup> ) Noin
		Min	Max	
4,5	3,6	3,4	4,2	2,6
7	6,6	6,3	7,3	4,5
10	9,5	9,2	10,2	6,5
13	12,4	12,1	13,1	8,5

### **Ohjeelliset kuumennus - ja jäähdytysajat sekä taivutussäteet**

Kuumapuristimen lämpötila 145°C	Muotin lämpötila 25°C		Viilun paksuus 1,5mm	
<b>Levyn paksuus (mm)</b>	<b>4,5</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>13</b>
Lämmitetään 130°C:seen	1 min 30 s	2 min 30 s	4 min	7 min
Jäähdytys 80 °C:seen	45 s	1 min	3 min	4 min
Ohjeelliset minimitaivutussäteet ohutviilupinnoilla (mm)	25 – 35	30 – 40	40 – 50	50 – 60





**Kuvat 11 & 12** Valmis kaksiosainen muotti. Muotti laitetaan kokonaisena punoslevyn kanssa uuniin jotta punos ei ehdi jäähtyä ennen kuin yläkappale painetaan 50 kilonpainoin sekä käsipuristimin kasaan. (Kuvat: Tony Yau)



**Kuva 13** Lämpömuovauksesta valmistunut punos. (Kuva: Tony Yau)

Ensimmäinen koeprässäys lämmitettiin 150 asteeseen. Muotti ja levy pidettiin valmiina uunissa lämmityksen ajan jotta ne ehtivät lämmetä myös. Koekappale taipui muotoonsa mutta erilaisia ongelmia syntyi (Kuva 13). Koekappaleessa oli satunnaisesti myötä- sekä vastasyisiä soiroja. Suurin osa myötäsyisistä soiroista pysyivät hyvinä mutta osaan oli tullut hiusmurtumia sekä uloimman vanerikerroksen pullahduksia. Suurin osa vastasyisistä soiroista olivat katkenneet. Siitä voimme olettaa että vastasyiset soivot eivät päässeet liikkumaan punoksessa levyn lämmitessä vaan ne katkesivat. Kestävämmät myötäsyiset soivot eivät katkenneet vaan pullahtivat ulos rakenteesta. Epäilimme aluksi pajahenkilökunnan kanssa että punosrakenne estää tasojen liikkumisen tai

muotti. Muotin pystyin poissulkemaan koska kyseisessä muodossa paine koskettaa ensiksi keskeltä ja jakautuu sitten päätyjä kohti jolloin paine tasautuu levyä pitkin siten että teoriassa kerroksien pitäisi päästää reunoja kohti.

Toisessa kokeessa sain Mahogany Oy:ltä erikoisohutta 3mm vaneria jonka kuivapunominen onnistui helposti. Rakenteeltaan niin ohut vaneri oli joustavaa mutta punosrakenteena se oli jäykempää. Aloitin punomalla pienempiä kappaleita joita lämpömuovattiin. Jostain syystä prässätyt kappaleet palasivat levyiksi kun prässä avattiin. Epäilin aluksi että 3mm levyn prässäyksen täytyi tapahtua niin nopeasti että se oli jo ehtinyt kovettua ennen kuin ylämuotti suljettiin. Lukuisten yrityksien jälkeen totesin että levy ei ehdi lämmitä tarpeeksi ja laitoin kiertoilmauuniin kokeilun, 160astetta ja lähdin kahville. Palattuani otin muotin ulos ja laitoin yläkappaleen kiinni jonka jälkeen punoutuminen onnistui (Kuva14).



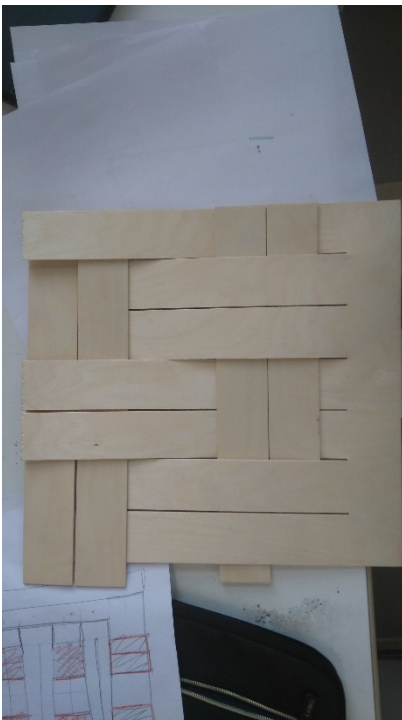
**Kuva 14 & 15** Onnistuneita kokeiluja. (Kuvat: Tony Yau)

Periaatteessa 7mm punoksessa on siis käynyt siten että levy ei ole päässyt tarpeeksi lämpiämään/ se on lämmennyt epätasaisesti, jolloin rakenne on pullahdellut. Tein uuden kokeilun vielä 7mm vanerilla ja se onnistui hyvin kun levy lämmitettiin 160 asteeseen (kuva 15).

## 4 Tulokset

Tutkimukseni osoittaa että UPM Gradasta on täysin mahdollista tehdä kuivapunoksia, jonka jälkeen niitä voi onnistuneesti lämpömuovata. Onnistuneeseen punokseen vaikuttavat soirojen leveydet suhteessa vanerin paksuuteen, sekä punoksen tyyppi. Tutkimuksessa oivalsin kaksisoiroisen punosrakenteen hyödyntämisen, joka antoi selkeästi lisää pelivaraa kuivapunontaan.

Tutkimuksessa myös selvisi että soirojen uloimpien kerroksien kannattaa olla myötäsyyisiä, jotta ne jaksavat liikkua rakenteessa halkeamatta. Jatkotutkimuksen kannalta on tärkeää ymmärtää, että punosta lämpömuovattaessa siitä katoaa soirojen välinen jännite jolloin rakenteen päättely on tärkeää.



**Kuva 16** Kokeilu mahdollisesta päättely tekniikasta jossa soivot ovat samaa kappaletta. (Kuva: Tony Yau)

## 5 Tarkastelu / johtopäätökset

Seuraavaksi aion tutkia miten UPM Gradasta tehtyjä punosrakenteita voisi hyödyntää käytännössä. Rakenteista voisi olla mahdollista tehdä tilanjakajia, huonekaluja etc. Rakenteen päättely voi myös ratketa, kun tekniikalle löytyy hyvä suunta johon sitä voisi hyödyntää. Seuraavaksi olisi hyvä myös tutkia miten rakenne käyttäytyy, kun sitä lähdetään muotopuristamaan kaksoiskaareviin muotoihin. Hypotesina soirot voisivat punoutua keskenään jumiin kaksoiskaarevassa muodossa, joka toimisi itsenään päättelynä. Rakennetta on helpoin tutkia käytännössä, mutta myös matemaattisella lähestymisellä voidaan helposti saavuttaa hyviä tuloksia punosrakenteen muodon suunnittelussa.

## Lähdeluettelo

**Metsälehti.** (2015) Metsäteollisuuden osuus viennistä kasvanut. [Internet julkaisu] 16.10.2015.

Luettu osoitteesta:

"<http://www.metsalehti.fi/Metsalehti/Metsauutiset/2015/10/Metsateollisuuden-osuus-viennista-kasvanut/>" [Käyty sivulla 3.4.2016]

**Metsäteollisuus OY.** (2005) Vanerikäsikirja. [Internet julkaisu] Luettu osoitteesta:

"<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Vanerik%C3%A4sikirja.pdf>" [Käyty sivulla 3.4.2016]

**CES Edupack** Thermoplastic composite molding

**Luontoportti.** [Internetjulkaisu] Luettu osoitteesta:

"<http://www.luontoportti.com/suomi/fi/puut/rauduskoivu>" [Käyty sivulla 3.4.2016]

**Propuu Ry.** [Internetjulkaisu] Luettu osoitteesta:

"[http://www.puuproffa.fi/PuuProffa\\_2012/7/puujalosteet/vanerit](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/puujalosteet/vanerit)" [Käyty sivulla 3.4.2016]

**UPM.** (2013) [Internetjulkaisu] Luettu osoitteesta:

"[http://www.puumerkki.fi/files/3031/UPM\\_Grada1000\\_FI\\_Puumerkki\\_LR\\_41379.pdf](http://www.puumerkki.fi/files/3031/UPM_Grada1000_FI_Puumerkki_LR_41379.pdf)" [Käyty sivulla: 3.4.2016]

**Puuinfo.** [Internetjulkaisu] Luettu osoitteesta: "<http://www.puuinfo.fi/node/1513>" [Käyty sivulla: 3.4.2016]